

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **09209077 A**

(43) Date of publication of application: **12.08.97**

(51) Int. Cl

**C22C 38/00**  
**C21D 8/00**  
**C22C 38/12**  
**C22C 38/32**  
**C22C 38/54**

(21) Application number: **08034274**

(22) Date of filing: **30.01.96**

(71) Applicant: **NIPPON STEEL CORP**

(72) Inventor: **TOKUNO KAZUNARI**  
**TSUCHIDA YUTAKA**

**(54) HIGH TEMPERATURE REFRactory STEEL MATERIAL AND ITS PRODUCTION**

**(57) Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a (400 to 510)N/mm<sup>2</sup> class high temp. refractory steel material of 700°C specification, used mainly for a material for a skeleton of a building and used in an uncoated or minimally coated state., and its production.

**SOLUTION:** This high temp. refractory steel material has a steel composition essentially containing, by weight

ratio, 0.02-0.07% C, 0.1-0.15% Nb, 0.04-0.1% Al, and 0.0003-0.002% B and also containing either or both of 0.3-1% Mo and 0.02-0.1% V, and further, the Nb compound precipitation parameter,  $NBP=N +0.3C-(Nb/15+Mo/50+V/20)$ , represented by respective contents of C, N, Nb, Mo, and V and bainitic structure fraction (f), satisfies  $C2NBP20.005$ . Moreover, toughness can be improved to a greater extent by the addition of Ca or REM, and also toughness in a weld zone can be improved by the addition of Ni or Ti.

**COPYRIGHT: (C)1997,JPO**

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-209077

(43)公開日 平成9年(1997)8月12日

|                          |      |         |              |        |
|--------------------------|------|---------|--------------|--------|
| (51)Int.Cl. <sup>6</sup> | 識別記号 | 庁内整理番号  | F I          | 技術表示箇所 |
| C 22 C 38/00             | 301  | 9270-4K | C 22 C 38/00 | 301A   |
| C 21 D 8/00              |      |         | C 21 D 8/00  | A      |
| C 22 C 38/12             |      |         | C 22 C 38/12 |        |
| 38/32                    |      |         | 38/32        |        |
| 38/54                    |      |         | 38/54        |        |

審査請求 未請求 請求項の数5 FD (全7頁)

(21)出願番号 特願平8-34274

(22)出願日 平成8年(1996)1月30日

(71)出願人 000006655

新日本製鐵株式会社

東京都千代田区大手町2丁目6番3号

(72)発明者 徳納 一成

東海市東海町5-3 新日本製鐵株式会社

名古屋製鐵所内

(72)発明者 土田 豊

東海市東海町5-3 新日本製鐵株式会社

名古屋製鐵所内

(74)代理人 弁理士 田中 久喬

(54)【発明の名称】 高温耐火鋼材及びその製造方法

(57)【要約】

【課題】 本発明は、建築物骨材用主として用いられ無被覆もしくは少ない被覆で供せされる700°C仕様の400~510N/mm<sup>2</sup>級高温耐火鋼材及びその製造法に関するものである。

【解決手段】 主として、重量比で、主としてC:0.02~0.07%、Nb:0.1~0.15%、Al:0.04~0.1%、B:0.0003~0.002%を含有し且つMo:0.3~1%、V:0.02%~0.1%の1種または2種以上を含有する鋼組成を有し、さらに、C、N、Nb、Mo、V含有量及びベイナイト組織分率fで表されるNb複合析出パラメーター、NBP=N+0.3×C-(Nb/15+Mo/50+V/20)がC≤NBP≤0.005を満足する高温耐火鋼材。靭性はさらにCaもしくはREMの添加、溶接部靭性はNiもしくはTiの添加によって向上せられる。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 重量比で、

C : 0. 02 ~ 0. 07 %、

Si : 0. 05 ~ 0. 3 %、

Mn : 0. 8 ~ 1. 5 %、

Nb : 0. 1 ~ 0. 15 %、

Al : 0. 04 ~ 0. 1 %

B : 0. 0003 ~ 0. 002 %

を含有し、Nbとの複合炭化物形成元素群、

Mo : 0. 3 ~ 1 %、

V : 0. 02 ~ 0. 1 %

の1種または2種を含有し、且つ、C、N、Nb、Mo、V含有量及びベイナイト組織分率fで表されるNb複合析出パラメーター、 $NBP = N + 0.3 \times C - f \times (Nb/15 + Mo/50 + V/20)$ が、 $0 \leq NBP \leq 0.005$ 

を満足し、残部Fe及び不可避的不純物からなることを特徴とする高温耐火鋼材。

【請求項2】 重量比で、

C : 0. 02 ~ 0. 07 %、

Si : 0. 05 ~ 0. 3 %、

Mn : 0. 8 ~ 1. 5 %、

Cr : 0. 3 ~ 1 %、

Nb : 0. 1 ~ 0. 15 %、

Al : 0. 04 ~ 0. 1 %

B : 0. 0003 ~ 0. 002 %

を含有し、Nbとの複合炭化物形成元素群、

Mo : 0. 3 ~ 1 %、

V : 0. 02 ~ 0. 1 %

の1種または2種を含有し、且つ、C、N、Nb、Mo、V含有量及びベイナイト組織分率fで表されるNb複合析出パラメーター、 $NBP = N + 0.3 \times C - f \times (Nb/15 + Mo/50 + V/20)$ が、 $0 \leq NBP \leq 0.005$ 

を満足し、残部Fe及び不可避的不純物からなることを特徴とする高温耐火鋼材。

【請求項3】 請求項1または2記載の鋼組成に、更に、

Ni : 0. 2 ~ 1 %、

Ti : 0. 01 ~ 0. 05 %

の1種または2種を含有せしめたことを特徴とする請求項1または2記載の高温耐火鋼材。

【請求項4】 請求項1、2または3記載の鋼に、

Ca : 0. 001 ~ 0. 01 %、

REM : 0. 01 ~ 0. 05 %

の1種または2種を含有せしめたことを特徴とする請求項1、2または3記載の高温耐火鋼材。

【請求項5】 請求項1、2、3または4記載の鋼において、C、N、Nb、Mo、V含有量及びベイナイト組織分率fで表されるNb複合析出パラメーター、 $NBP$  $= N + 0.3 \times C - f \times (Nb/15 + Mo/50 + V/20)$ が、 $0 \leq NBP \leq 0.005$ 

を満足し且つ、圧延後、ベイナイト組織分率が0.6以上となる熱処理を施し、さらにMoおよび/またはVとNbとの複合炭化物形成熱処理を施すことを特徴とする高温耐火鋼材の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

10 【発明の属する技術分野】 本発明は、高温耐火鋼材及びその製造方法に関するものである。特に普通鋼（引張強さ400 ~ 510 N/mm<sup>2</sup>級の鋼）において、700°C付近での耐火性の向上が著しい高温耐火鋼材及びその製造方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 昨今の構造物施工のコストダウンの気運は建築業界に対しても強く、建設・鉄骨会社への安全規制の強化要求の反面、コストダウンも同時に要求されるといった厳しい風潮にある。

20 【0003】 その最たるものは耐火規制とそれに関する施工のコストダウン指向であり、厳しい耐火基準を満足しつつも施工側からのコストダウン要求に応えるべく、建設・鉄骨各社は工程省略等で対応しなければならない。そのため、直近では無被覆もしくは被覆低減可能な400 ~ 490 N/mm<sup>2</sup>級耐火鋼開発に対する要求が高まっている。【0004】 上記の耐火鋼材への要求特性は、従来材をはるかに上回る耐火特性（700°C降伏強さが常温規格降伏強さの2/3以上の値、すなわち157 N/mm<sup>2</sup>以上）を有すること、低降伏比であること、及び施工時の足場金具や吊金具を少ない予熱で溶接するための溶接性に優れることなどが望まれる。30 【0005】 従来目的に使用される耐火性鋼板の製造方法の公知技術としては、たとえば特開平3-173715に記載されている490 N/mm<sup>2</sup>級鋼材があるが、そもそも600°C程度での耐火性を考慮したものであり、700°C付近の高温耐火性を具備する技術の開発が強く求められている。

## 【0006】

40 【発明が解決しようとする課題】 本発明は、このような事情に鑑み考案されたもので、700°Cと高温での耐火性に優れ、さらに好ましくは耐震性及び溶接性にも優れた鋼材を提供するものである。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】 本発明の要旨は以下の通りである。

【0008】 (1) 重量比で、C : 0. 02 ~ 0. 07 %、Si : 0. 05 ~ 0. 3 %、Mn : 0. 8 ~ 1. 5 %、Nb : 0. 1 ~ 0. 15 %、Al : 0. 04 ~ 0. 1 %、B : 0. 0003 ~ 0. 002 %を含有し、Nb

50

との複合炭窒化物形成元素群、Mo: 0.3~1%、V: 0.02~0.1%の1種または2種を含有し、且つ、C、N、Nb、Mo、V含有量及びベイナイト組織分率fで表されるNb複合析出パラメーター、NBP=N+0.3×C-f×(Nb/15+Mo/50+V/20)が0≤NBP≤0.005を満足し、残部Fe及び不可避的不純物からなることを特徴とする高温耐火鋼材、(2)重量比で、C: 0.02~0.07%、Si: 0.05~0.3%、Mn: 0.8~1.5%、Cr: 0.3~1%、Nb: 0.1~0.15%、Al: 0.04~0.1%、B: 0.0003~0.002%を含有し、Nbとの複合炭窒化物形成元素群、Mo: 0.3~1%、V: 0.02~0.1%の1種または2種を含有し、且つ、C、N、Nb、Mo、V含有量及びベイナイト組織分率fで表されるNb複合析出パラメーター、NBP=N+0.3×C-f×(Nb/15+Mo/50+V/20)が0≤NBP≤0.005を満足し、残部Fe及び不可避的不純物からなることを特徴とする高温耐火鋼材、(3)前記(1)もしくは(2)記載の鋼組成に、更に、Ni: 0.2~1%、Ti: 0.01~0.05%の1種または2種を含有せしめたことを特徴とする前記(1)または(2)記載の高温耐火鋼材、(4)前記(1)、(2)もしくは(3)記載の鋼に、Ca: 0.001~0.01%、REM: 0.01~0.05%の1種または2種を含有せしめたことを特徴とする前記(1)、(2)もしくは(3)記載の高温耐火鋼材、及び、(5)前記(1)、(2)、(3)もしくは(4)記載の鋼において、C、N、Nb、Mo、V含有量及びベイナイト組織分率fで表されるNb複合析出パラメーター、NBP=N+0.3×C-f×(Nb/15+Mo/50+V/20)が0≤NBP≤0.005を満足し且つ圧延後、ベイナイト組織分率が0.6以上となる熱処理を施し、さらにMoおよび/またはVとNbとの複合炭窒化物形成熱処理を施すことを特徴とする高温耐火鋼材の製造方法。

#### 【0009】

【発明の実施の形態】本発明の高温での耐火強度の向上機構としては、本発明者らは、Bのオーステナイト粒界への偏析作用による焼入れ効果によりベイナイト主体組織(望ましくは60%以上)を有したベイナイト基地中に、Nb炭窒化物を核としてV及び/又はMoの板状炭窒化物(特に平均一辺長さ50μm以上の板状のもの)が複合析出することを考え、この強化機構により結果的に火災時にも700℃という高温で高い耐火強度(降伏強さ)が得られるというものである。併せてCを低く抑えているため低降伏比及び溶接性も同時に良好である高温耐火鋼材を提供できるというものである。

【0010】ここで、球状Nb炭窒化物を核としたVもしくはMoの板状炭窒化物の長さと700℃での降伏強さとの関係を詳細に検討したところ、上記板状析出物の

平均一辺長さが50μm以上のときの特に高い降伏値が得られることからわかった。これは、変形の担い手である可動転位線を析出物界面で吸引することにより相乗効果が発揮されるためと本発明者らは考えている。また、鋼のミクロ組織中に60%以上のベイナイト組織が含まれると、前記転位線の吸引が促進され、さらに安定的に高い高温耐火強度が得られることもわかった。

【0011】次に、本発明の限定理由を説明する。

【0012】Cは、最低限の焼入れ性の確保及び炭窒化物の構成元素ということで0.02%以上が必要であるが、0.07%を越える添加により溶接性が著しく低下し、且つ過剰な固溶C及びセメンタイトにより降伏強さが上がり結果的に常温での降伏比が高くなつて常温での耐震性が低下してしまう。よつてCの添加範囲は0.02~0.07%である。

【0013】Siは、脱酸及び焼き入性の点から最低0.05%を必要とするが、0.3%を越える添加により溶接性を低下させるばかりでなく、脱酸時に生成された酸化物を核として高温変形時にポイドが発生するため高温強度を著しく低下させることになる。よつてSiの添加範囲は0.05~0.3%とする。

【0014】Mnは、Sを固定して熱間加工時の粒界割れを防止する効果と焼入れ性の点から必須な元素であり最低0.8%を必要とするが、1.5%を越える添加で、溶接性を著しく低下させる。したがつてMnの添加範囲は0.8~1.5%とする。

【0015】Crは、ベイナイト組織の確保上添加が望ましい元素であり、その場合0.3%以上を必要とするが、1%を超える添加では溶接性を損なううえ、Cr系粗大炭化物の生成によって前記のNb複合析出物の効果を阻害し高温耐火強度をかえつて低下させてしまう。したがつてCrの添加範囲は0.3~1%とする。

【0016】Moは、球状Nb炭窒化物を核として耐火性上重要な長さ50μm以上の板状析出物による析出強化と固溶強化及びベイナイト組織確保の点から最低0.3%の添加を必要とするが、1%を越える添加により溶接継手韌性と溶接性及び熱間加工性を著しく低下させる。したがつて、Moの添加範囲は0.3~1%とする。

【0017】Vは本発明での重要元素である。ベイナイト組織確保とNb炭窒化物を核とした長さ50μm以上の板状Nb炭窒化物の析出強化の点から最低0.02%を必要とするが、0.1%を超える添加は母材及び溶接継手の韌性を著しく低下させる且つ溶接性も低下させる。したがつて、Vの添加範囲は0.02~0.1%である。

【0018】Nbは本発明での最重要元素である。Nbは、高温耐火強度確保のための析出強化のもう1つの主役であるVやMoの炭窒化物の析出核となり、この析出核の高密度分布のため最低0.1%の添加を必要とする

が、0.15%を超えるとこれら炭窒化物の粗大化による分布密度低下をまねき高温強度を著しく低下させ、且つ母材及び溶接継手韌性を低下させる。したがって、Nbの添加範囲は0.1~0.15%である。

【0019】A1は脱酸材として重要であるばかりでなく、A1Nを形成して、ベイナイト組織生成の主役である固溶Bの確保すなわちBNの析出抑制効果を發揮する元素である。この効果のため最低0.04%の添加を必要とするが、1%以上の添加により脱酸生成酸化物を核とした高温変形時のボイド発生により高温強度が著しく低下する。したがって、A1の最適範囲は0.04~1%とする。

【0020】Bも本発明での最重要元素のひとつである。Bは、オーステナイト粒界に偏析してフェライトの生成を抑制することによって焼入れ性を確保する重要な元素であり最低0.0003%の添加を必要とするが、0.002%を超える添加でBNの粗大析出が起こり韌性の著しい低下をまねく。よってBの添加範囲には制限があり、0.0003~0.002%がその範囲である。

【0021】Ni及びTiは、溶接熱影響部組織を微細化してその韌性を向上させるはたらきを有する。添加に際してはNiは0.2%以上、Tiは0.01%以上を必要とするが、Niにおいて1%、Tiにおいて0.05%を超える添加では炭窒化物の粗大化が促進され高温強度が低下する。よってNiの添加範囲は0.2~1%、Tiの添加範囲は0.01~0.05%とする。

【0022】Ca及びREMは、介在物の形態及び分散制御に極めて有効で韌性向上に寄与する。この効果のためにはCaは0.001%以上、REMは0.01%以上の添加を必要とするが、Caでは0.01%、REMでは0.05%を超える添加では韌性をかえって低下させる。よってCaの添加範囲は0.001~0.01%、REMの添加範囲は0.01~0.05%とする。

【0023】Nb複合窒化物を核としたV及び/又はMoの板状炭窒化物の複合析出物の析出条件は、C、N、Nb、Mo、V含有量及びベイナイト組織分率fで表されるNb複合析出パラメーター、 $NBP = N + 0.3 \times C - f \times (Nb/15 + Mo/50 + V/20)$ が、0以上且つ0.005以下のときに満たされることがわかった。NBPが0以下では板状析出物の成長が不完全であり、また0.005を超えると核となるNb炭窒化物の異常成長時にNが消費されこれも成長不完全となる。よって、 $0 \leq NBP \leq 0.005$ が満たすべき条件である。

【0024】加えて本発明では、圧延後、ベイナイト組織分率が0.6以上となるような熱処理を施し、さらに

Moおよび/またはVとNbとの複合炭窒化物形成熱処理を施すものである。圧延に際しては、圧延素材の温度が950°C未満であれば、加熱処理によるNb炭窒化物の析出処理が必要であるが、素材温度が950°C以上であれば再加熱処理は行わないことも可能である。圧延条件に関しては、特に限定されるものではないが、Nb炭窒化物の形成を効率的に行うためには800~900°Cの温度で圧下比45%以上の圧下を行うことが望ましい。圧延後の冷却も特に限定されるものではない。最後のMoおよび/またはVとNbの析出処理は550°CからA<sub>1</sub>点の範囲が望ましい。

【0025】本発明の鋼材とは、化学組成及びNb複合析出パラメーターNBPを満足する鋼材であれば何でもかまわず、例えば、厚鋼板、薄鋼板（熱延鋼板、冷延鋼板、表面処理鋼板など）、形鋼（H形鋼など）などでも本発明の効果は十分に享受可能である。

#### 【0026】

【実施例】表1-1、1-2に示す成分範囲の鋼を溶製し、これらの鋼のスラブを1050°Cで加熱後、960°Cで圧延を開始して厚減比50%の圧延を加えて板厚3.5mmまで圧延した後、600°Cで析出熱処理を施して供試鋼板とした。表1-3には、Nb複合析出パラメーター、ベイナイト分率、Nb炭窒化物を核として析出した板状析出物の一辺長さを示した。

【0027】製造したそれぞれの鋼板の鋼板板厚1/4の部位の圧延方向から採取した試験片を用い、室温引張試験、700°Cでの耐火昇温高温引張試験を行った。また、同じく鋼板板厚1/4の部位の圧延に対して垂直な方向から衝撃試験片を採取し0°Cでの衝撃吸収エネルギー(vE0)を測定した。さらに、サブマージ・アーチ溶接にて入熱5,800kJ/mmで鋼板の突合せ継手を製作後、鋼板板厚1/4で且つボンド線から2mm溶接熱影響部に入った部位にノッチを入れた衝撃試験片を採取し、0°Cでの衝撃吸収エネルギー(vE0)を測定した。第2表に以上の試験結果を示す。第2表には、基地中のベイナイト分率も併せて示す。

【0028】なお、室温引張試験はJISZ2201~4号試験片を用い、JISZ2204に準拠して行った。また、高温引張試験はJISZ2271の

4号引張クリープ試験法で用いる試験片を用い、引張試験自体は室温での試験法すなわちJISZ2204に準拠して行なった。衝撃試験は、JISZ2202~4号試験片を用い、JISZ2242に準拠して行なった。

#### 【0029】

【表1-1】

| No  | 化 学 成 分 (wt%) |      |      |       |       |      |      |      |       |       |       |       |        |        |       |       |
|-----|---------------|------|------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|
|     | C             | Si   | Mn   | P     | S     | Ni   | Cr   | Mo   | V     | Nb    | Ti    | Al    | B      | N      | Ca    | REM   |
| 発明鋼 | 1 0.03        | 0.15 | 1.14 | 0.010 | 0.006 | -    | -    | 0.16 | 0.048 | 0.102 | -     | 0.048 | 0.0011 | 0.0044 | -     | -     |
|     | 2 0.03        | 0.13 | 0.89 | 0.009 | 0.007 | -    | 0.48 | 0.25 | 0.075 | 0.116 | -     | 0.062 | 0.0010 | 0.0039 | -     | -     |
|     | 3 0.04        | 0.18 | 0.85 | 0.012 | 0.004 | -    | -    | 0.74 | 0.015 | 0.113 | -     | 0.049 | 0.0008 | 0.0048 | -     | -     |
|     | 4 0.03        | 0.21 | 0.97 | 0.004 | 0.004 | -    | -    | 0.82 | -     | 0.108 | -     | 0.054 | 0.0010 | 0.0051 | 0.004 | -     |
|     | 5 0.05        | 0.07 | 0.92 | 0.005 | 0.002 | -    | 0.46 | 0.56 | -     | 0.110 | -     | 0.056 | 0.0011 | 0.0042 | 0.003 | 0.025 |
|     | 6 0.04        | 0.18 | 1.22 | 0.008 | 0.002 | 0.36 | 0.44 | 0.48 | -     | 0.124 | -     | 0.066 | 0.0009 | 0.0054 | -     | 0.019 |
|     | 7 0.04        | 0.15 | 0.87 | 0.007 | 0.003 | 0.12 | -    | 0.25 | 0.054 | 0.121 | -     | 0.043 | 0.0009 | 0.0044 | 0.006 | -     |
|     | 8 0.05        | 0.18 | 0.89 | 0.008 | 0.004 | -    | 0.33 | 0.65 | 0.008 | 0.106 | -     | 0.059 | 0.0011 | 0.0030 | -     | 0.031 |
|     | 9 0.02        | 0.25 | 1.10 | 0.007 | 0.006 | -    | 0.32 | 0.70 | 0.022 | 0.102 | -     | 0.055 | 0.0012 | 0.0041 | 0.004 | 0.021 |
|     | 10 0.06       | 0.08 | 0.85 | 0.011 | 0.004 | -    | -    | 0.35 | 0.088 | 0.103 | -     | 0.047 | 0.0009 | 0.0025 | 0.006 | -     |
|     | 11 0.04       | 0.18 | 1.15 | 0.008 | 0.005 | -    | 0.38 | 0.25 | 0.084 | 0.131 | -     | 0.077 | 0.0012 | 0.0029 | 0.004 | 0.025 |
|     | 12 0.04       | 0.20 | 1.04 | 0.009 | 0.004 | -    | -    | 0.18 | 0.092 | 0.110 | -     | 0.057 | 0.0009 | 0.0035 | -     | 0.037 |
|     | 13 0.03       | 0.15 | 1.23 | 0.001 | 0.003 | 0.39 | -    | 0.54 | 0.034 | 0.108 | -     | 0.048 | 0.0011 | 0.0033 | -     | -     |
|     | 14 0.02       | 0.22 | 0.98 | 0.005 | 0.001 | -    | 0.54 | 0.55 | 0.088 | 0.114 | 0.015 | 0.049 | 0.0011 | 0.0045 | -     | -     |
|     | 15 0.03       | 0.21 | 0.96 | 0.002 | 0.003 | 0.58 | -    | 0.45 | 0.054 | 0.130 | 0.014 | 0.055 | 0.0010 | 0.0035 | -     | -     |

下線は本発明の範囲外を示す

【0030】

【表1-2】

| No  | 化 学 成 分 (wt%) |      |      |       |       |      |      |      |       |       |       |       |        |        |       |       |
|-----|---------------|------|------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|
|     | C             | Si   | Mn   | P     | S     | Ni   | Cr   | Mo   | V     | Nb    | Ti    | Al    | B      | N      | Ca    | REM   |
| 比較鋼 | 16 0.03       | 0.09 | 0.89 | 0.005 | 0.004 | -    | -    | 0.55 | 0.054 | 0.102 | -     | 0.049 | 0.0010 | 0.0035 | -     | -     |
|     | 17 0.02       | 0.15 | 1.08 | 0.008 | 0.004 | -    | -    | 0.60 | 0.015 | 0.112 | 0.011 | 0.061 | 0.0009 | 0.0040 | -     | -     |
|     | 18 0.05       | 0.11 | 1.12 | 0.006 | 0.004 | -    | -    | 0.35 | 0.035 | 0.102 | -     | 0.059 | 0.0012 | 0.0045 | -     | -     |
|     | 19 0.04       | 0.16 | 1.35 | 0.004 | 0.003 | 0.25 | -    | 0.33 | 0.041 | 0.117 | 0.013 | 0.055 | 0.0009 | 0.0044 | -     | -     |
|     | 20 0.01       | 0.09 | 0.98 | 0.004 | 0.006 | -    | -    | 0.35 | 0.050 | 0.105 | -     | 0.068 | 0.0009 | 0.0035 | -     | -     |
|     | 21 0.09       | 0.23 | 1.07 | 0.005 | 0.005 | -    | -    | 0.70 | 0.095 | 0.140 | 0.014 | 0.070 | 0.0009 | 0.0045 | -     | -     |
|     | 22 0.08       | 0.15 | 0.89 | 0.003 | 0.002 | -    | -    | 0.50 | 0.095 | 0.128 | -     | 0.064 | 0.0008 | 0.0025 | -     | 0.012 |
|     | 23 0.04       | 0.04 | 0.88 | 0.004 | 0.003 | 0.23 | -    | 0.65 | 0.064 | 0.104 | 0.012 | 0.045 | 0.0013 | 0.0035 | 0.003 | 0.013 |
|     | 24 0.04       | 0.34 | 1.02 | 0.003 | 0.005 | -    | 0.32 | 0.73 | 0.055 | 0.125 | -     | 0.058 | 0.0011 | 0.0032 | -     | -     |
|     | 25 0.03       | 0.15 | 0.68 | 0.003 | 0.001 | -    | -    | 0.73 | 0.015 | 0.108 | -     | 0.064 | 0.0011 | 0.0038 | 0.004 | -     |
|     | 26 0.05       | 0.09 | 1.01 | 0.003 | 0.003 | 1.06 | -    | 0.28 | 0.095 | 0.104 | -     | 0.063 | 0.0010 | 0.0034 | -     | -     |
|     | 27 0.04       | 0.20 | 1.21 | 0.005 | 0.002 | -    | 1.11 | 0.42 | 0.046 | 0.121 | -     | 0.071 | 0.0009 | 0.0054 | -     | 0.021 |
|     | 28 0.03       | 0.11 | 1.21 | 0.005 | 0.002 | -    | -    | 0.25 | 0.026 | 0.105 | -     | 0.058 | 0.0012 | 0.0048 | -     | -     |
|     | 29 0.04       | 0.15 | 1.03 | 0.004 | 0.002 | -    | -    | 1.06 | 0.041 | 0.114 | -     | 0.051 | 0.0011 | 0.0054 | -     | 0.012 |
|     | 30 0.04       | 0.21 | 0.89 | 0.003 | 0.001 | -    | 0.32 | 0.55 | 0.113 | 0.105 | -     | 0.065 | 0.0010 | 0.0043 | -     | -     |
|     | 31 0.04       | 0.21 | 1.02 | 0.004 | 0.004 | 0.35 | -    | 0.46 | 0.047 | 0.079 | 0.013 | 0.058 | 0.0009 | 0.0028 | -     | -     |
|     | 32 0.03       | 0.12 | 0.92 | 0.003 | 0.004 | 0.41 | -    | 0.55 | 0.041 | 0.092 | -     | 0.067 | 0.0010 | 0.0031 | -     | -     |
|     | 33 0.04       | 0.22 | 1.05 | 0.003 | 0.002 | -    | -    | 0.58 | 0.042 | 0.159 | -     | 0.065 | 0.0011 | 0.0041 | -     | -     |
|     | 34 0.03       | 0.15 | 0.91 | 0.004 | 0.004 | -    | -    | 0.48 | 0.081 | 0.104 | 0.058 | 0.047 | 0.0007 | 0.0042 | -     | -     |
|     | 35 0.03       | 0.19 | 0.85 | 0.005 | 0.006 | -    | -    | 0.48 | 0.069 | 0.108 | -     | 0.025 | 0.0012 | 0.0045 | -     | -     |
|     | 36 0.05       | 0.18 | 0.82 | 0.006 | 0.006 | -    | -    | 0.75 | 0.055 | 0.114 | -     | 0.105 | 0.0010 | 0.0041 | 0.005 | -     |
|     | 37 0.02       | 0.21 | 1.31 | 0.004 | 0.005 | -    | -    | 0.58 | 0.067 | 0.108 | -     | 0.059 | 0.0002 | 0.0021 | -     | -     |
|     | 38 0.04       | 0.23 | 1.02 | 0.003 | 0.004 | -    | -    | 0.62 | 0.081 | 0.112 | -     | 0.048 | 0.0022 | 0.0041 | -     | -     |
|     | 39 0.05       | 0.19 | 1.04 | 0.011 | 0.009 | -    | -    | 0.89 | 0.014 | 0.136 | -     | 0.064 | 0.0010 | 0.0031 | 0.019 | -     |
|     | 40 0.05       | 0.24 | 1.08 | 0.009 | 0.008 | -    | 0.35 | 0.62 | 0.061 | 0.121 | -     | 0.054 | 0.0009 | 0.0051 | -     | 0.064 |

下線は本発明の範囲外を示す

【0031】

【表2】

| No | NBP    | バイン<br>分率 | 板状炭<br>墨化物<br>平均長<br>(μm) | 常温 (25°C)       |                 |            | 700°C           |                 | 母材<br>vE0<br>(J) | 溶接維手<br>vE0<br>(J) |
|----|--------|-----------|---------------------------|-----------------|-----------------|------------|-----------------|-----------------|------------------|--------------------|
|    |        |           |                           | 降伏強さ<br>(N/mm²) | 引張強さ<br>(N/mm²) | 降伏比<br>(%) | 降伏強さ<br>(N/mm²) | 引張強さ<br>(N/mm²) |                  |                    |
| 1  | 0.0041 | 0.70      | >50                       | 312             | 412             | 76         | 168             | 212             | 262              | 121                |
| 2  | 0.0014 | 0.70      | >50                       | 322             | 425             | 76         | 181             | 223             | 215              | 109                |
| 3  | 0.0018 | 0.65      | >50                       | 305             | 405             | 75         | 169             | 215             | 212              | 123                |
| 4  | 0.0011 | 0.55      | >50                       | 325             | 435             | 75         | 175             | 205             | 223              | 108                |
| 5  | 0.0044 | 0.80      | >50                       | 342             | 448             | 76         | 195             | 235             | 218              | 104                |
| 6  | 0.0022 | 0.85      | >50                       | 335             | 441             | 76         | 190             | 229             | 244              | 148                |
| 7  | 0.0046 | 0.75      | >50                       | 322             | 441             | 73         | 184             | 205             | 238              | 139                |
| 8  | 0.0047 | 0.65      | >50                       | 345             | 451             | 76         | 191             | 238             | 223              | 105                |
| 9  | 0.0003 | 0.45      | >50                       | 315             | 404             | 78         | 171             | 205             | 214              | 114                |
| 10 | 0.0032 | 0.95      | >50                       | 378             | 495             | 76         | 215             | 241             | 204              | 101                |
| 11 | 0.0041 | 0.60      | >50                       | 331             | 445             | 74         | 205             | 242             | 201              | 112                |
| 12 | 0.0046 | 0.70      | >50                       | 322             | 431             | 75         | 184             | 214             | 214              | 121                |
| 13 | 0.0015 | 0.55      | >50                       | 318             | 421             | 76         | 179             | 209             | 243              | 158                |
| 14 | 0.0036 | 0.30      | >50                       | 323             | 428             | 75         | 187             | 212             | 220              | 142                |
| 15 | 0.0033 | 0.45      | >50                       | 331             | 440             | 75         | 190             | 230             | 221              | 149                |
| 16 | 0.0019 | 0.70      | <50                       | 315             | 410             | 77         | 98              | 165             | 210              | 115                |
| 17 | 0.0011 | 0.55      | <50                       | 308             | 408             | 75         | 105             | 164             | 205              | 144                |
| 18 | 0.0094 | 0.65      | <50                       | 342             | 448             | 76         | 118             | 181             | 198              | 105                |
| 19 | 0.0074 | 0.55      | <50                       | 344             | 447             | 77         | 121             | 175             | 205              | 122                |
| 20 | 0.0007 | 0.35      | <50                       | 265             | 341             | 77         | 98              | 154             | 190              | 102                |
| 21 | 0.0048 | 0.95      | >50                       | 401             | 474             | 85         | 205             | 265             | 216              | 108                |
| 22 | 0.0044 | 0.95      | >50                       | 400             | 471             | 85         | 195             | 248             | 224              | 95                 |
| 23 | 0.0028 | 0.55      | >50                       | 289             | 385             | 79         | 122             | 195             | 264              | 155                |
| 24 | 0.0011 | 0.55      | >50                       | 348             | 445             | 78         | 118             | 192             | 198              | 89                 |
| 25 | 0.0015 | 0.50      | >50                       | 291             | 378             | 77         | 102             | 190             | 211              | 102                |
| 26 | 0.0046 | 0.80      | >50                       | 332             | 431             | 77         | 104             | 185             | 288              | 162                |
| 27 | 0.0043 | 0.70      | >50                       | 358             | 476             | 75         | 96              | 168             | 170              | 105                |
| 28 | 0.0065 | 0.55      | <50                       | 265             | 338             | 78         | 94              | 158             | 249              | 112                |
| 29 | 0.0020 | 0.50      | >50                       | 341             | 442             | 77         | 205             | 246             | 184              | 45                 |
| 30 | 0.0045 | 0.50      | >50                       | 368             | 481             | 77         | 201             | 252             | 98               | 38                 |
| 31 | 0.0047 | 0.60      | <50                       | 338             | 435             | 78         | 85              | 154             | 195              | 148                |
| 32 | 0.0035 | 0.35      | >50                       | 342             | 440             | 78         | 94              | 164             | 184              | 15                 |
| 33 | 0.0040 | 0.50      | >50                       | 356             | 472             | 75         | 98              | 175             | 96               | 71                 |
| 34 | 0.0039 | 0.45      | >50                       | 354             | 464             | 76         | 102             | 169             | 201              | 126                |
| 35 | 0.0044 | 0.45      | >50                       | 259             | 340             | 76         | 89              | 151             | 195              | 108                |
| 36 | 0.0014 | 0.70      | >50                       | 349             | 465             | 75         | 97              | 169             | 192              | 110                |
| 37 | 0.0035 | 0.35      | >50                       | 240             | 315             | 76         | 80              | 148             | 181              | 109                |
| 38 | 0.0006 | 0.65      | >50                       | 355             | 461             | 77         | 197             | 235             | 98               | 65                 |
| 39 | 0.0018 | 0.65      | >50                       | 362             | 475             | 76         | 178             | 222             | 109              | 68                 |
| 40 | 0.0036 | 0.70      | >50                       | 355             | 465             | 76         | 201             | 248             | 87               | 65                 |

下線は本発明の範囲外を示す

表1-1、1-2に示す鋼のうちNo. 1～No. 15は本発明実施例であり、No. 16～No. 40は本発明の範囲外の比較例である。

【0032】先ず比較例No. 16及びNo. 17はNBPが本発明下限を下回るため、またNo. 18及びNo. 19は本発明上限を上回るためいずれも高温強度が低い。

【0033】比較例鋼No. 20はCが本発明の下限を下回るため常温及び高温強度が低い。

【0034】比較例鋼No. 21及びNo. 22はCが本発明の上限を上回るため降伏比が高く耐震性上要求される値の上限を超えている。

【0035】比較例鋼No. 23はSiが本発明の下限を下回るため常温及び高温強度が低い。

【0036】比較例鋼No. 24はSiが本発明の上限を上回るため高温強度が低い。

【0037】比較例鋼No. 25はMnが本発明の下限を下回るため常温及び高温強度が低い。

【0038】比較例鋼No. 26はNiが本発明の上限を上回るため高温強度が低い。

【0039】比較例鋼No. 27はCrが本発明の上限を上回るため高温強度が低い。

【0040】比較例鋼No. 28はMoが本発明の下限を下回るため常温及び高温強度が低い。

【0041】比較例鋼No. 29はMoが本発明の上限を上回るため溶接維手靭性が低い。

【0042】比較例鋼No. 30はVが本発明の上限を上回るため母材及び溶接維手靭性が低い。

【0043】比較例鋼No. 31及びNo. 32はNbが本発明の下限を下回るため高温強度が低い。

【0044】比較例鋼No. 33はNbが本発明の上限を上回るため高温強度及び靭性が低い。

【0045】比較例鋼No. 34はTiが本発明の上限を上回るため高温強度が低い。

【0046】比較例鋼No. 35はAlが本発明の下限を下回るため常温及び高温強度が低い。

【0047】比較例鋼No. 36はAlが本発明の上限を上回るため高温強度が低い。

【0048】比較例鋼No. 37はBが本発明の下限を下回るため常温及び高温強度が低い。

11

【0049】比較例鋼No.38はBが本発明の上限を上回るため靭性が低い。

【0050】比較例鋼No.39及びNo.40はそれぞれCa及びREMが本発明の上限を上回るため靭性が低い。

【0051】これらに対し、本発明実施例No.1～No.15は、常温及び高温耐火強度、常温での降伏比及

12

び靭性全てに申し分ない特性を示す。

【0052】

【発明の効果】本発明により、高温耐火特性に優れた鋼材（引張強度400～510N/mm<sup>2</sup>級）を得ることが可能となる。また、本発明によれば溶接性も合せて向上でき溶接施工が容易になるとともに耐震性にも優れているので産業界に与える効果は極めて大きいと言える。